

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

Διδάσκοντες: Κ. Φουντάς, Σ. Κοέν, Ν. Νικολής.

“ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ Ι”

11 – 9 – 2013

Θέμα 1^ο:

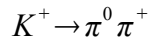
- (α) Διατυπώστε τις δύο αρχές στις οποίες βασίζεται η θεωρία της ειδικής σχετικότητας. [4 μονάδες]
- (β) Περιγράψτε (χωρίς πράξεις) πώς απορρέουν οι μετασχηματισμοί του Lorentz από τη μία από τις δύο αρχές. [2 μονάδες]
- (γ) Τι απέδειξε το πείραμα των Michelson και Morley; [2 μονάδες]
- (δ) Διατυπώστε δύο βασικές προβλέψεις της ειδικής σχετικότητας οι οποίες μπορούν να μετρηθούν στο εργαστήριο. [4 μονάδες]
- (ε) Κάτω από ποιες συνθήκες η θεωρία της ειδικής σχετικότητας δίνει περίπου τα ίδια αποτελέσματα με την κλασική (μη-σχετικιστική) φυσική; [2 μονάδες]
- (στ) Δείξτε ότι η ταχύτητα σωματιδίου ολικής ενέργειας E και μάζας m δίνεται από τη σχέση

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{m^2 c^4}{E^2}} \quad [4 \text{ μονάδες}]$$

- (ζ) Δείξτε ότι σωματίδιο με ολική ενέργεια E πολύ μεγαλύτερη της ενέργειας ηρεμίας του mc^2 κινείται με ταχύτητα που δίνεται από τη σχέση

$$\beta \approx 1 - \frac{m^2 c^4}{2 E^2} \quad [2 \text{ μονάδες}]$$

- (η) Θεωρήστε την μετάπτωση θετικού καονίου σε ουδέτερο πiónιο και θετικό πiónιο.



- (i) Δείξτε ότι στο αδρανειακό σύστημα του καονίου η ενέργεια του θετικού πιονίου είναι

$$E_{\pi^+}^* = \frac{m_{K^+}^2 c^4 + m_{\pi^+}^2 c^4 - m_{\pi^0}^2 c^4}{2 m_{K^+} c^2} \quad [3 \text{ μονάδες}]$$

- (ii) Δείξτε ότι στο αδρανειακό σύστημα του καονίου η ενέργεια του ουδέτερου πιονίου είναι

$$E_{\pi^0}^* = \frac{m_{K^+}^2 c^4 + m_{\pi^0}^2 c^4 - m_{\pi^+}^2 c^4}{2 m_{K^+} c^2} \quad [2 \text{ μονάδες}]$$

Θέμα 2^ο:

- (α) Να εξετάσετε εάν η ποσότητα $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ μένει αναλλοίωτη σε μετασχηματισμούς Γαλιλαίου.

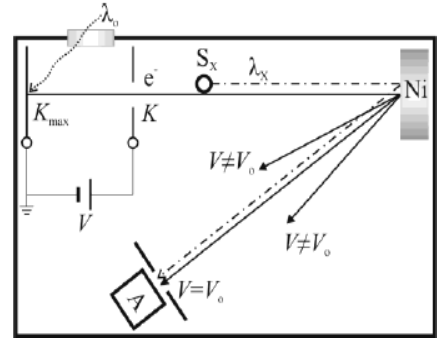
[5 μονάδες]

- (β) Η μάζα ηρεμίας ενός μιονίου ισούται με $207 m_e$ ($106 \text{ MeV}/c^2$) και ο μέσος χρόνος ζωής στο σύστημα ηρεμίας του είναι $2 \times 10^{-6} \text{ s}$. Πόση είναι η μάζα του μιονίου στο εργαστήριο, όπου ο μέσος χρόνος ζωής του είναι $2 \times 10^{-6} \text{ s}$; [5 μονάδες]

- (γ) Ένα διαστημόπλοιο με ιδιομήκος 300 m προσπερνά έναν ακίνητο παρατηρητή στη Γη. Ο παρατηρητής μετρά ότι το διαστημόπλοιο χρειάζεται $0.750 \mu\text{s}$ για να τον προσπεράσει. Πόση είναι η ταχύτητα του διαστημοπλοίου σύμφωνα με τον παρατηρητή στη Γη; [5 μονάδες]

- (δ) Ένα σωματίο με μάζα ηρεμίας m_0 κινείται με ταχύτητα $0.8c$ συγκρούεται πλαστικά με ένα άλλο σωματίο που έχει μάζα ηρεμίας $3 m_0$. Πόση είναι η μάζα ηρεμίας του συσσωματώματος; [10 μονάδες]

Θέμα 3^ο: Στο διπλανό σχήμα δίνεται διάταξη μέτρησης του μήκους κύματος λ_x δέσμης ακτίνων X οι οποίες παράγονται από πηγή S_x . Η μέθοδος μέτρησης είναι η εξής: Η δέσμη ακτίνων X προσπίπτει κάθετα σε κρύσταλλο Ni και υφίσταται περίθλαση Bragg. Ο ανιχνευτής A περιστρέφεται κατά άγνωστη γωνία έως ότου ανιχνεύσει τις ακτίνες X. Δεύτερη δέσμη ηλεκτρονίων παράγεται από διάταξη φωτοηλεκτρικού φαινομένου (πάνω αριστερά). Τα ηλεκτρόνια παράγονται όταν η φωτοευαίσθητη επιφάνεια βομβαρδιστεί με φωτόνια μήκους κύματος λ_0 . Ηλεκτροδίο-συλλέκτης, με οπή από την οποία εξέρχονται τα ηλεκτρόνια έχει τοποθετηθεί δεξιά της φωτοευαίσθητης επιφάνειας και βρίσκεται σε δυναμικό V . Η δέσμη ηλεκτρονίων προσπίπτει κάθετα στον κρύσταλλο Ni και υφίσταται επίσης περίθλαση Bragg. Η κινητική ενέργεια της δέσμης των ηλεκτρονίων μεταβάλλεται αλλάζοντας το δυναμικό V το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της γωνίας περίθλασης της δέσμης των ηλεκτρονίων. Το μήκος κύματος λ_x υπολογίζεται όταν οι δύο δέσμες περιθλώνται κατα την ίδια γωνία και ανιχνεύονται στον ανιχνευτή A. Ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

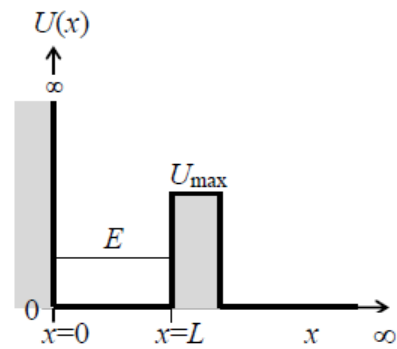


- (α) Πρώτα μετράμε την τάση αποκοπής $V=V_s < 0$, δηλαδή την οριακή τάση για την οποία δεν ανιχνεύεται κανένα ηλεκτρόνιο στο ηλεκτροδίο-συλλέκτη. Για $\lambda_0 = 225.4 \text{ nm}$ μετρήθηκε ότι $|V_s| = 2 \text{ Volts}$. Βρείτε το έργο εξόδου του φωτοευαίσθητου ηλεκτροδίου. [8 μονάδες]
- (β) Στη συνέχεια τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται μέσω εφαρμοζόμενης τάσης $V > 0$. Για μία συγκεκριμένη τάση $V = V_0$ η δέσμη ανιχνεύεται από τον A. Μετρήθηκε ότι $V_0 = 7.4 \text{ Volts}$. Βρείτε την κινητική ενέργεια K με την οποία τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στον κρύσταλλο Ni. [4 μονάδες]
- (γ) Βρείτε το μήκος κύματος λ_x . Εξηγήστε λεπτομερώς τον συλλογισμό σας. [13 μονάδες]

Θέμα 4^ο:

(α) Διατυπώστε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg, όσον αφορά τον προσδιορισμό της ορμής και της θέσης, και εξηγήστε συνοπτικά τις φυσικές συνέπειες που έχει. [5 μονάδες]

(β) Η δυναμική ενέργεια του διπλανού σχήματος αποτελεί χονδροειδή απλούστευση της δυναμικής ενέργειας στην περιοχή ενός πυρήνα. Υποθέστε, κατ' αρχήν, ότι το μέγιστο $U_{\max} \rightarrow \infty$. Ένα σωματίδιο είναι πλήρως εγκλωβισμένο στο πηγάδι, τυπικών πυρηνικών διαστάσεων $L = 10 \text{ fm}$ ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$). Εκτιμήστε την ορμή του σωματιδίου, εκφρασμένη σε MeV/c . [5 μονάδες]



(γ) Εκτιμήστε την κινητική ενέργεια KE σωματιδίου εντός του πηγαδιού, (i) εάν ήταν ηλεκτρόνιο ($m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$) και (ii) εάν ήταν πρωτόνιο ($M_p c^2 = 938.3 \text{ MeV}$). Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση της σχετικιστικής ή της μη-σχετικιστικής έκφρασης για την κινητική ενέργεια. Εκτιμήστε επίσης την ολική ενέργεια E των δύο σωματιδίων. [5 μονάδες]

(δ) Υποθέστε ότι το U_{\max} δεν είναι άπειρο αλλά πεπερασμένο. Η ενέργεια των σωματιδίων δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα, αλλά τώρα τα σωματίδια μπορούν να διαφύγουν από την περιοχή μήκους L μέσω του φαινομένου σήραγγας. Ποια θα είναι η κινητική ενέργειά τους μακριά από τον πυρήνα ($x \rightarrow \infty$) και γιατί; [5 μονάδες]

(ε) Κατά τις πυρηνικές μεταπτώσεις β , εκπέμπονται από τον πυρήνα ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια που δεν υπερβαίνει ποτέ τα 5 MeV . Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από (γ) και (δ) εξηγήστε αν είναι δυνατόν τα ηλεκτρόνια αυτά να είναι συστατικά του πυρήνα, όπως είναι τα πρωτόνια και τα νετρόνια. [4 μονάδες]

Τυπολόγιο:

$$p = m\gamma\beta c, \quad E = m\gamma c^2, \quad E = \sqrt{(pc)^2 + m^2 c^4}, \quad KE = \sqrt{(pc)^2 + m^2 c^4} - mc^2, \quad \beta = V/c, \quad \gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$$

$$KE = p^2/2m \quad (1+x)^N \approx 1+Nx \quad \hbar c = 197.3 \text{ MeV fm} = 197.3 \text{ eV nm} \quad m = \gamma m_0 = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$$

$$x' = x - R \quad v' = v - V$$